Thème 4 : Ondes et signaux
Partie 2. Former des images-Décrire la lumière par un flux de photons
CHAP 20-EXOS Lunette astronomique-CORRIGE

Exercices en autonomie: QCM p.496 n°9 à 13/ER p497 n°14-15/EC p491 n°2*-5*-14*

Exercices p.499 et suiv. : n°17-19-(24)-27+type BAC n°30-31

17 Démontrer et appliquer le cours

Utiliser ses connaissances • Établir une loi

On dispose de lentilles convergentes de vergences variées. Pour construire une lunette astronomique, on fixe une lentille à une extrémité d'un tube en carton et une autre à l'autre extrémité. On observe ensuite le ciel à travers ce dispositif.

1. a. Laquelle des deux lentilles est nommée objectif : celle qui est du côté des étoiles ou celle qui est du côté de l'œil ?
On notera O_1 son centre optique, C_1 sa vergence et f_1' sa distance focale.

b. Comment l'autre lentille se nomme-t-elle ?
On notera O_2 son centre optique, C_2 sa vergence et f_2' sa distance focale.

c. On considère un objet AB à l'infini, A étant dans la direction de l'axe optique.
Où se trouve l'image A_1B_1 de cet objet par la première lentille rencontrée ?

d. Comment faut-il placer la deuxième lentille pour que l'œil ne se fatigue pas pendant l'observation ? Justifier. Comment nomme-t-on un tel système ?

e. Quelle doit donc être l'expression de la longueur du tube en carton utilisé pour construire la lunette ?

2. a. Réaliser un schéma de principe de cette lunette en matérialisant les lentilles et leurs caractéristiques et en traçant le trajet d'au moins deux rayons issus de B.

b. Sur le schéma précédent, matérialiser l'angle θ sous lequel l'objet est vu à l'œil nu et l'angle θ' sous lequel il est vu à travers la lunette.

c. Définir le grossissement G d'un tel système optique en fonction de θ et θ'.

d. Déterminer l'expression de G en fonction des vergences C_1 et C_2. On utilisera l'approximation des petits angles : $\tan\theta \approx \theta$ si θ est petit, avec θ exprimé en radians.

3. On dispose de lentilles de vergences suivantes :
1,0 δ ; 2,0 δ ; 5,0 δ ; 8,0 δ ; 10,0 δ ; 20,0 δ ; 50,0 δ

a. Pour réaliser une lunette qui grossit 25 fois, lesquelles faut-il choisir ? Préciser leurs rôles.

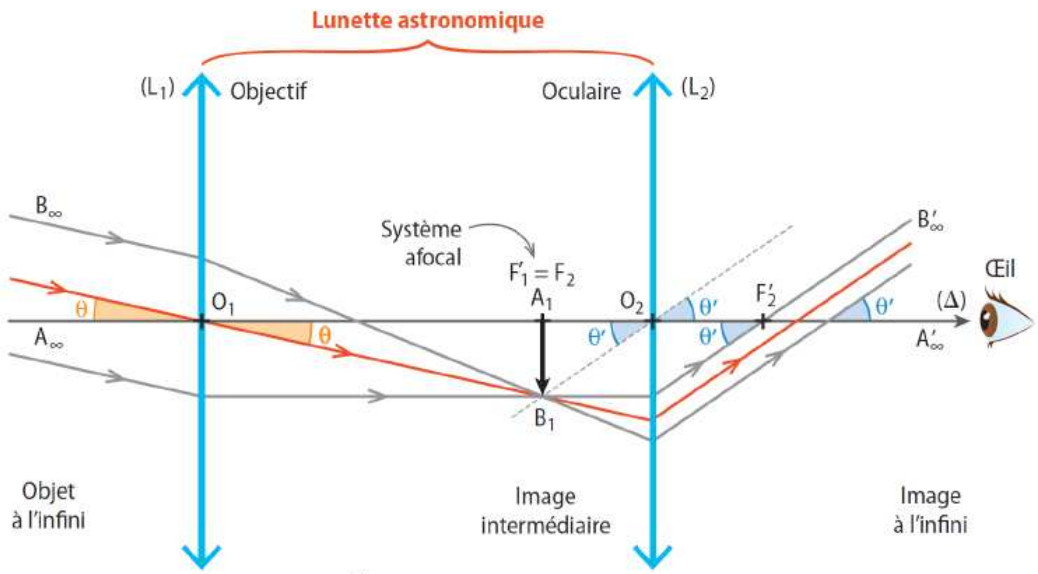
b. Quel est l'encombrement (c'est-à-dire la longueur totale) d'une telle lunette ?

c. Qu'observe-t-on si on utilise cette lunette dans le mauvais sens ?

4. La planète Mars, de diamètre $d = 6{,}8 \times 10^3$ km, est à $D = 78$ millions de kilomètres de la Terre, au plus près.
Une lunette de grossissement $G = 25$ permet-elle d'observer Mars avec un diamètre apparent supérieur à la résolution de l'œil humain, 3×10^{-4} rad ?

17 1. a. La lentille nommée objectif est celle qui est du côté de l'objet, donc des étoiles.
b. L'autre lentille est nommée oculaire.
c. L'image A_1B_1 de l'objet à l'infini par l'objectif est dans le plan focal image de l'objectif, donc à distance f_1' de son centre optique.
d. Pour que l'œil ne se fatigue pas pendant l'observation, il ne doit pas accommoder, donc observer l'infini. L'image intermédiaire A_1B_1 doit donc être placée dans le plan focal objet de l'oculaire, donc à distance de celui-ci égale à f_2'. Un tel système est qualifié d'afocal.
e. La longueur du tube en carton utilisé pour construire la lunette doit donc être $L = f_1' + f_2'$.

2. a. et b.



c. Le grossissement de la lunette est $G = \frac{\theta'}{\theta}$.

d. D'après le schéma, $\tan\theta = \frac{A_1B_1}{f_1'}$ et $\tan\theta' = \frac{A_1B_1}{f_2'}$.

D'après l'approximation des petits angles, on obtient donc $G = \frac{\theta'}{\theta} \approx \frac{\tan\theta'}{\tan\theta} = \frac{f_1'}{f_2'} = \frac{C_2}{C_1}$.

3. a. Pour réaliser une lunette qui grossit 25 fois, il faut un couple de lentilles ayant un rapport de vergences de 25, donc ici 50,0 δ pour l'oculaire et 2,0 δ pour l'objectif.
b. Les distances focales des lentilles sont 2,00 cm et 50,0 cm, donc l'encombrement est 52 cm.
c. Si on utilise cette lunette dans le mauvais sens, on observe une diminution de taille par un facteur 25.

4. Le diamètre apparent de Mars sans la lunette est $\alpha = \frac{d}{D}$.

Avec la lunette, il est $\alpha' = \frac{Gd}{D} = 25 \times \frac{6{,}8 \times 10^3}{78 \times 10^6}$, voisin de 2×10^{-3} rad, donc supérieur à la limite de résolution de l'œil humain.

19 Tracé à l'échelle

Schématiser une situation • Utiliser ses connaissances

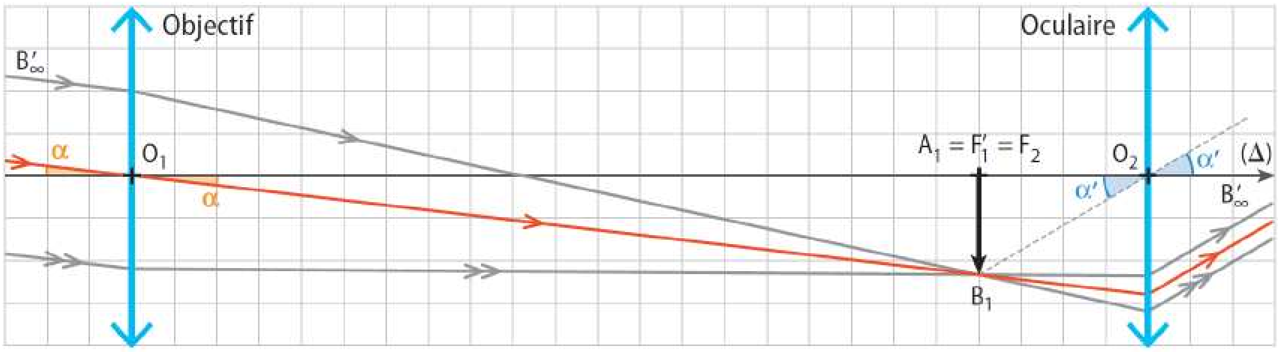
Une lunette astronomique est constituée d'un objectif de distance focale $f_1' = 500$ mm et d'un oculaire de distance focale $f_2' = 10$ cm.

■ Réaliser un schéma de cette lunette à l'échelle $\frac{1}{5}$.

On matérialisera le trajet de trois rayons provenant d'un point B à l'infini dans une direction inclinée par rapport à l'axe optique, ainsi que les angles α et α', diamètres apparents de l'objet observé avec et sans la lunette.

Pour les exercices 20 à 22, on admettra que le grossissement d'une lunette astronomique est le quotient de la distance focale de son objectif par la distance focale de son oculaire.

19



24 Lunette simulée

Utiliser un modèle • Formuler des hypothèses

Simulateur
Lentilles
hatier-clic.fr/pct500

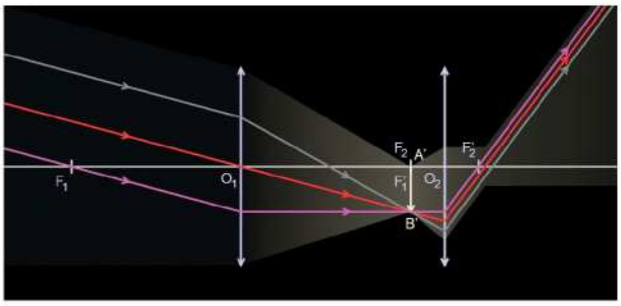
Le simulateur disponible à l'adresse hatier-clic.fr/pct500 positionne un objectif de distance focale $f_1' = 50$ cm face à un objet AB à l'infini.

1. On souhaite simuler une lunette astronomique afocale de grossissement $G = 5{,}0$.

a. Déterminer la distance focale f_2' de l'oculaire à utiliser. Le positionner sur l'axe optique.

b. Vérifier à l'aide du rapporteur la valeur du grossissement de cette lunette simulée.

2. Prévoir ce que voit l'œil si la lunette est mal réglée, avec une distance objectif-oculaire trop courte de 5,0 cm. Le vérifier à l'aide du simulateur.



27 Cercle oculaire

Exploiter un énoncé • Effectuer un calcul

Le cercle oculaire est le cercle où il est préférable de placer l'œil pour observer un objet à l'infini à travers une lunette. C'est l'image de l'objectif par l'oculaire.
Soit une lunette astronomique afocale constituée d'un objectif de distance focale $f_1' = 1{,}00$ m et de diamètre $d = 20$ cm, et d'un oculaire de distance focale $f_2' = 10{,}0$ cm.

L'acteur Denis Lavant interprétant Johannes Kepler dans le film *L'Œil de l'astronome* (2012).

1. On nomme O_1 le centre optique de l'objectif et O_2 celui de l'oculaire.

a. À l'aide de la relation de conjugaison, déterminer la position de l'image O_1' de O_1 par l'oculaire.

b. Le dégagement oculaire est la distance entre l'oculaire et le cercle oculaire. Elle ne doit pas être trop petite pour éviter l'inconfort, ni trop grande pour faciliter le placement de l'œil sur le cercle oculaire.
Quelle est la valeur du dégagement oculaire ici ? Vous paraît-elle convenir ?

2. Le bord de l'objectif sera repéré par un point I, dont l'image par l'oculaire est nommée I'.

a. Déterminer la distance $O_1'I'$. En déduire le diamètre du cercle oculaire.

b. Dans l'idéal, le diamètre du cercle oculaire doit être inférieur à la taille d'une partie de l'œil. Laquelle ? Pourquoi ? Est-ce le cas ici ?

3. a. Réaliser un schéma figurant les deux lentilles et les rayons permettant la construction du cercle oculaire.

b. Sur ce schéma, ajouter le trajet de deux rayons parallèles, arrivant de l'infini, inclinés par rapport à l'axe optique, et s'appuyant sur les bords de l'objectif.
Montrer que c'est au niveau du cercle oculaire que le faisceau lumineux sortant est le plus étroit.

27 1. a. La lunette est afocale, donc $\overline{O_2O_1} = -(f_1' + f_2') = -1{,}10$ m.

La relation de conjugaison de Descartes s'écrit : $-\dfrac{1}{\overline{O_2O_1}} + \dfrac{1}{\overline{O_2O_1'}} = \dfrac{1}{f_2'}$ d'où $\dfrac{1}{\overline{O_2O_1'}} = \dfrac{1}{f_2'} + \dfrac{1}{\overline{O_2O_1}}$

puis $\overline{O_2O_1'} = \dfrac{1}{\frac{1}{f_2'} + \frac{1}{\overline{O_2O_1}}} = \dfrac{1}{\frac{1}{0{,}100} + \frac{1}{-1{,}10}} = 0{,}11$ m.

b. Le dégagement oculaire vaut 11 cm. C'est peut-être un peu élevé, on a tendance naturellement à placer l'œil plus près de l'oculaire.

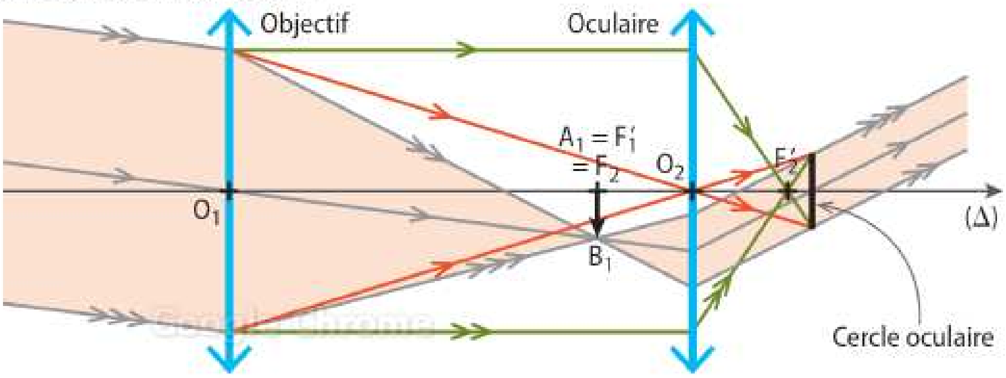
2. a. D'après les expressions du grandissement :

$\dfrac{\overline{O_1'I'}}{\overline{O_1I}} = \dfrac{\overline{O_2O_1'}}{\overline{O_2O_1}}$ d'où $\overline{O_1'I'} = \overline{O_1I} \times \dfrac{\overline{O_2O_1'}}{\overline{O_2O_1}} = 10 \times \dfrac{0{,}11}{-1{,}10} = -1{,}0$ cm.

On a donc $O_1'I' = 1{,}0$ cm. Le diamètre du cercle oculaire est donc 2,0 cm.

b. Dans l'idéal, le diamètre du cercle oculaire devrait être inférieur au diamètre de la pupille de l'œil, pour que toute la lumière sortant de la lunette entre dans l'œil. Ce n'est pas le cas ici, la pupille de l'œil faisant environ 5 mm.

3. a. et b.



Tous les rayons sortant de l'oculaire passent à l'intérieur du cercle oculaire, c'est là que le faisceau est le plus étroit.

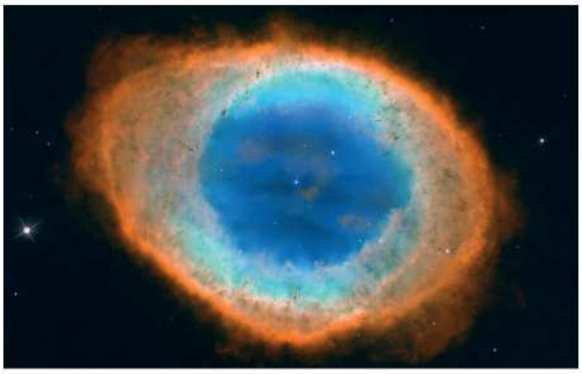
30 Visibilité d'une nébuleuse annulaire

> L'observatoire du Harvard College aux États-Unis, s'est doté en 1847 d'une lunette dont l'objectif a un diamètre de 38 cm. Il s'agissait d'un instrument remarquable pour l'époque au point de rester célèbre sous le nom de « Grand réfracteur ». Cet instrument a permis de réaliser la première photographie d'une étoile en 1850 : l'astronome W. C. Bond a réalisé des daguerréotypes* de l'étoile Véga dans la constellation de la Lyre.
>
> *Astronomie*, Éditions Atlas, 1984.

Vocabulaire

Daguerréotype : nom des premières photographies, issues d'un procédé inventé par le photographe français Louis Daguerre, en 1835.

Située près de la constellation de la Lyre, la nébuleuse annulaire de la Lyre (nommée M57) est le prototype des nébuleuses planétaires. Elle s'est formée il y a environ 20 000 ans à partir d'une étoile qui, en explosant, a libéré des gaz ayant une structure que l'on assimilera à un anneau circulaire (photographie ci-dessous).



L'exercice propose de déterminer le diamètre apparent de cette nébuleuse que l'on désignera par M57 dans le texte, observée avec la lunette de l'observatoire de Harvard. On négligera tout phénomène de diffraction. Une lunette est dite afocale lorsque le foyer image de l'objectif et le foyer objet de l'oculaire sont confondus.

Données • Année-lumière : 1 al = $1{,}00 \times 10^{13}$ km
• Pour les angles petits et exprimés en radians : $\tan \alpha \approx \alpha$

La lunette de l'observatoire de Harvard sera modélisée par un système de deux lentilles minces (L_1) et (L_2) :

- l'objectif (L_1) est une lentille convergente de centre optique O_1, de diamètre 38,0 cm et de distance focale $f_1' = 6{,}80$ m ;
- l'oculaire (L_2) est une lentille convergente de centre optique O_2 et de distance focale $f_2' = 4{,}0$ cm.

1. La distance entre les centres optiques des deux lentilles est de 6,84 m.

1.1. Montrer que cette lunette est afocale.

1.2. Réaliser, sans souci d'échelle, un schéma de principe représentant les deux lentilles et matérialisant la position du foyer image F_1' de l'objectif (L_1).

Sur ce schéma, placer les foyers F_2 et F_2' de l'oculaire dans le cas d'une lunette afocale.

2. Télécharger et imprimer le schéma disponible à l'adresse hatier-clic.fr/pct503.

La nébuleuse M57, supposée à l'infini, y est représentée par $A_\infty B_\infty$ (A_∞ étant sur l'axe optique). Un rayon lumineux issu de B_∞ est également représenté.

2.1. Construire, sur le schéma, l'image A_1B_1 de l'objet $A_\infty B_\infty$, donnée par l'objectif.

2.2. On désigne par α le diamètre apparent de la nébuleuse M57 : α est l'angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu.

Quelle est, en fonction de f_1' et A_1B_1, l'expression du diamètre apparent α ? Justifier.

3. L'oculaire (L_2) permet d'obtenir une image définitive A'B' de la nébuleuse M57.

3.1. La lunette étant afocale, où l'image A'B' sera-t-elle située ? Justifier la réponse.

3.2. Construire, sur le schéma, la marche d'un rayon lumineux issu de B_1 permettant de trouver la direction de B'.

4. On désigne par α' le diamètre apparent de l'image A'B' vue à travers la lunette.

4.1. Exprimer le diamètre apparent α' en fonction de f_2' et A_1B_1.

4.2. Définir le grossissement G de la lunette en fonction de α et α'.

Déduire des questions précédentes l'expression du grossissement G de la lunette de l'observatoire de Harvard, puis sa valeur numérique.

5. Application

La nébuleuse M57, située à la distance $L \approx 2\,600$ al de la Terre, a un diamètre $D = A_\infty B_\infty = 1{,}3 \times 10^{13}$ km.

5.1. Sachant que l'œil humain voit comme un point tout objet de diamètre apparent inférieur à $3{,}0 \times 10^{-4}$ rad, montrer qu'il peut théoriquement distinguer les points A_∞ et B_∞.

5.2. En réalité, la nébuleuse M57 n'est pas observable à l'œil nu mais, à travers la lunette, elle devient faiblement visible. Proposer une explication.

Quel est, à votre avis, l'intérêt d'utiliser pour les observations, des lunettes (et actuellement des télescopes) qui ont un objectif de diamètre de plus en plus grand ?

5.3. Calculer le diamètre apparent de cette nébuleuse vue à travers la lunette de l'observatoire de Harvard.

Adapté du sujet de Bac Asie, 2010.

DES CLÉS POUR RÉUSSIR

1.1. La réponse doit rappeler la définition d'un système afocal.

2.1. et **3.2.** Les tracés doivent être réalisés avec un crayon bien taillé. Revoir les règles de tracé de rayons.

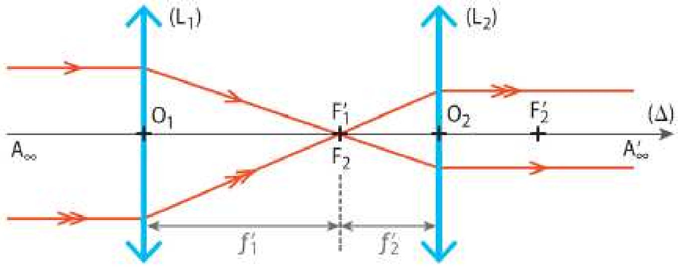
Révisions p. 490

2.2. et **4.1.** La justification doit s'appuyer sur le schéma et utilise l'approximation des petits angles.

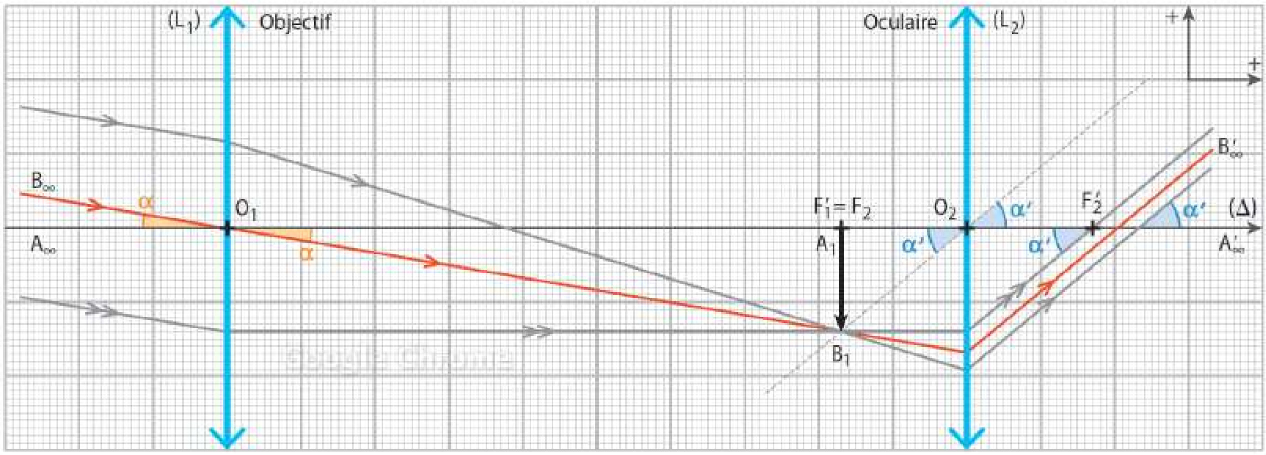
5.3. Utiliser l'expression de la question **4.b**.

30 1.1. Cette lunette est afocale vu que le foyer image de l'objectif est confondu avec le foyer objet de l'oculaire (puisque la distance entre les centres optiques est la somme des distances focales), donc l'image par la lunette d'un objet à l'infini est envoyée à l'infini.

1.2.



2.1.



2.2. D'après l'approximation des petits angles : $\alpha \approx \tan\alpha = \frac{A_1B_1}{f_1'}$

3.1. La lunette étant afocale, l'image A'B' est à l'infini car l'image intermédiaire est dans le plan focal objet de l'oculaire.
3.2. Voir schéma.

4.1. D'après l'approximation des petits angles : $\alpha' \approx \tan\alpha' = \frac{A_1B_1}{f_2'}$

4.2. Par définition : $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$

On en déduit : $G = \frac{\frac{A_1B_1}{f_2'}}{\frac{A_1B_1}{f_1'}} = \frac{f_1'}{f_2'} = \frac{6{,}80}{4{,}0 \times 10^{-2}} = 1{,}7 \times 10^2$

5.1. Le diamètre apparent de la nébuleuse à l'œil nu est $\alpha = \frac{D}{L} = \frac{1{,}3}{2\ 600} = 5{,}0 \times 10^{-4}$ rad, supérieur à la limite de résolution de l'œil, donc on devrait pouvoir la voir à l'œil nu.
5.2. Si la nébuleuse M57 n'est pas observable à l'œil nu, c'est peut-être parce que l'œil n'en reçoit pas assez de lumière pour qu'elle soit distinguée parmi les autres objets lumineux du ciel. La lunette collecte plus de lumière que l'œil vu que le diamètre de l'objectif est plus grand que celui de l'œil. C'est l'intérêt d'avoir des objectifs très grands : collecter plus de lumière pour avoir des images plus lumineuses.
5.3. Le diamètre apparent de cette nébuleuse vue à travers la lunette de l'observatoire de Harvard est :
$\alpha' = G\alpha = 1{,}7 \times 10^2 \times 5{,}0 \times 10^{-4} = 8{,}5 \times 10^{-2}$ rad

31 Étude des taches solaires

On étudie une lunette astronomique qui permet d'observer l'image du Soleil par une projection sur un écran. Cette lunette est constituée :

– d'un objectif convergent de diamètre 70 mm et de distance focale $f_1' = 900$ mm ;

– d'un oculaire convergent dont la distance focale vaut $f_2' = 20$ mm.

Données

- Diamètre apparent du Soleil : $\alpha = 9{,}33 \times 10^{-3}$ rad
- Diamètre du Soleil : $D = 1{,}39 \times 10^{6}$ km
- Vu les petits angles mis en jeu, on utilisera l'approximation des petits angles : $\tan\alpha \approx \alpha$, si α est en radians.
- Soit une lentille de centre optique O et de distance focale f' donnant d'un objet AB une image A'B'. La relation de conjugaison est : $-\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{f'}$

Dans la suite de l'exercice, on assimilera l'objectif de cette lunette à une lentille mince (L_1) convergente de centre optique O_1, de foyers objet et image respectifs F_1 et F_1'. L'oculaire sera assimilé à une lentille mince (L_2) convergente de centre optique O_2, de foyers objet et image respectifs F_2 et F_2'.

L'objectif de cette lunette donne d'un objet AB très éloigné (considéré à l'infini) une image intermédiaire A_1B_1 située entre l'objectif et l'oculaire. L'oculaire, qui sert à examiner cette image intermédiaire, en donne une image définitive A'B'. Lorsque cette image définitive est à l'infini, la lunette est dite afocale.

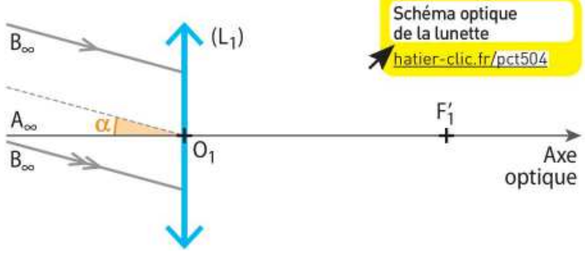
A. La lunette est rendue afocale

1. Le point A de l'objet AB situé à l'infini est sur l'axe optique de la lentille (L_1).

1.1. Où l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB se forme-t-elle par rapport à l'objectif ?

1.2. Sur le modèle du document disponible à l'adresse hatier-clic.fr/pct504, réaliser un schéma de principe sans souci d'échelle représentant l'axe optique, la lentille (L_1) et un rayon incliné issu de B. Construire A_1B_1.

Doc. imprimable
Schéma optique de la lunette
hatier-clic.fr/pct504



1.3. Calculer la taille de A_1B_1.

2. L'image intermédiaire A_1B_1 donnée par l'objectif constitue un objet pour l'oculaire.

2.1. Quelle position particulière doit occuper A_1B_1 pour que l'image A'B' soit rejetée à l'infini ?

2.2. Où se trouve alors le foyer objet F_2 de l'oculaire par rapport au foyer image F_1' de l'objectif pour que la lunette soit afocale ?

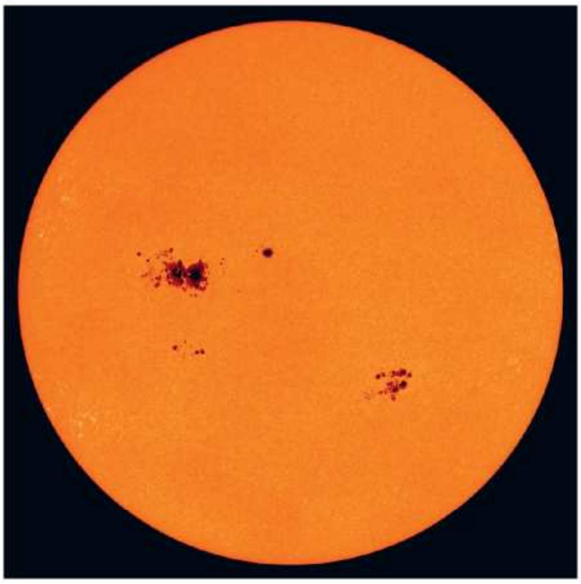
3. Ajouter sur le schéma les foyers F_2 et F_2' de l'oculaire et tracer ensuite la marche du faisceau lumineux à travers la lunette.

4. Donner la définition du diamètre apparent image α' et le représenter sur le schéma. Le calculer.

5. En déduire le grossissement G de cette lunette.

B. Observation des taches solaires

Lorsque l'on observe le Soleil au travers de filtres appropriés ou lorsque l'on projette son image sur un écran, sa surface montre certaines irrégularités dans son éclat, appelées taches solaires, qui apparaissent en noir (photographie ci-dessous).



Tâches solaires mises en évidence par le satellite SoHO, en orbite autour du Soleil.

Pour une observation de ce phénomène, on règle la position de l'oculaire par rapport à l'objectif de façon à obtenir une image nette du Soleil sur un écran. L'écran est placé à 30 cm du foyer image F_2' de l'oculaire.

1. Montrer que $\overline{O_2A'} = 32$ cm.

2. En utilisant la relation de conjugaison, calculer $\overline{O_2A_1}$. A-t-on éloigné ou rapproché l'oculaire de l'objectif pour observer l'image du Soleil sur l'écran ? Justifier la réponse.

3. On observe sur l'écran l'image d'une des taches solaires. Cette image supposée circulaire a un diamètre $d' = 5$ mm. L'image du Soleil a un diamètre $D' = 126$ mm. Calculer le diamètre d de cette tache solaire.

Adapté du sujet de Bac Antilles, 2006.

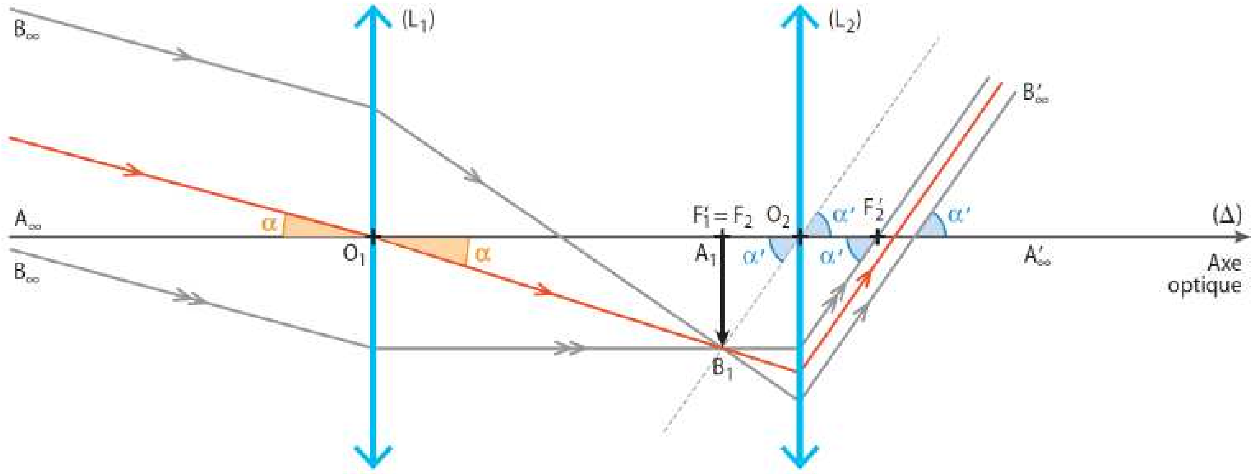
DES CLÉS POUR RÉUSSIR

A. La démarche est très guidée : bien lire les questions et s'assurer qu'on y répond précisément.
Pour les constructions, même si aucune échelle n'est à respecter, les rapports de distances doivent être approximativement corrects.

B. L'image n'est plus à l'infini : le système n'est plus afocal.

31 A.1.1. L'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB est formée dans le plan focal image de l'objectif, à la distance f_1' de celui-ci.

1.2.



1.3. La taille de A_1B_1 est $A_1B_1 = f_1'\alpha = 8{,}40$ mm.

2.1. A_1B_1 doit être dans le plan focal objet de l'oculaire pour que l'image A'B' soit rejetée à l'infini.

2.2. Le foyer objet F_2 de l'oculaire doit donc être confondu avec le au foyer image F_1' de l'objectif pour que la lunette soit afocale.

3. Voir schéma.

4. Le diamètre apparent image α' est l'angle sous lequel on voit l'objet à travers la lunette. Voir schéma.

Il vaut $\alpha' = \dfrac{A_1B_1}{f_2'} = 0{,}42$ rad.

5. Le grossissement de cette lunette est donc : $G = \dfrac{\alpha'}{\alpha} = 45$.

B.1. $\overline{O_2A'} = \overline{O_2F_2'} + \overline{F_2'A'} = 30 + 2{,}0 = 32$ cm

2. D'après la relation de conjugaison : $-\dfrac{1}{\overline{O_2A_1}} + \dfrac{1}{\overline{O_2A'}} = \dfrac{1}{f_2'}$ d'où $\dfrac{1}{\overline{O_2A_1}} = \dfrac{1}{\overline{O_2A'}} - \dfrac{1}{f_2'}$

Puis $\overline{O_2A_1} = \dfrac{1}{\frac{1}{\overline{O_2A'}} - \frac{1}{f_2'}} = \dfrac{1}{\frac{1}{32} - \frac{1}{2{,}0}} = -2{,}1$ cm

On a éloigné l'oculaire de l'objectif pour observer l'image du Soleil sur l'écran puisqu'avant cette opération, on avait $\overline{O_2A_1} = -f_2' = -2{,}0$ cm.

3. Par proportion, le diamètre de la tache solaire est : $d = \dfrac{d'D}{D'} = 6 \times 10^4$ km